4П

УДК 621.397

П.В. Попович
Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев
ppv@ztri.ntu-kpi.kiev.ua

Измерение качества видеоизображений как способ управления скоростью видеопотока

В статье исследована проблема управления скоростью видеопотока в современных системах цифрового телевизионного вещания на этапах подготовки и передачи видеоконтента. Предложен метод управления скоростью по критерию качества видеоизображений, измеряемого с помощью объективных показателей и соответствующего субъективному человеческому восприятию.

Введение

Учитывая постоянный рост потоков видеоинформации в современном мире, разработка эффективных электронных программно-аппаратных комплексов, предназначенных для передачи видеоизображений, является важной и актуальной научно-технической задачей. Практический опыт в сфере цифрового телевизионного вещания и результаты экспериментальных исследований дают возможность сформировать задачу, важную для обеспечения доставки качественного видеоконтента к конечному потребителю, которая заключается в управлении скоростью (битрейтом) видеопотока как на этапе создания видеоконтента, так и в процессе передачи (мультиплексирования) видеопрограмм.

Целью данной работы является разработка методов и моделей управления потоком видеоданных как на этапе создания видеоконтента, так и в процессе его передачи на основании объективного и субъективного измерения качества видеоизображений с учетом применяемых методов сжатия для систем цифрового телевизионного вещания.

Существует несколько методов управления скоростью видеопотока, общая суть которых сводится к вычислению необходимого битрейта через известные глобальные коэффициенты квантования начального и перекодированного видеопотока и среднеквадратичную разницу остаточного кадра после компенсации движения. Однако эти методы не позволяют изменять скорость видеопотока в зависимости от текущего качества видеоизображения как в составе элементарного потока, так и в составе мультиплекса [1-3]. Поэтому предложено использовать для управления скоростью видеопотока критерий, основанный на измерении качества передаваемого видеоизображения.

Транскодер видеопотока

Управление скоростью видеопотока осуществляется посредством устройства, называемого транскодером. Транскодеры видеопотока работают по схемам с обратной связью и без обратной связи [4]. Последние обладают лучшим быстродействием из-за отсутствия прямого и обратного косинусного преобразования (ДКП) (рис. 1 а), но имеют один серьёзный недостаток – они позволяют управлять скоростью видеопотока только в ручном режиме, основываясь на заданном инженером значении скорости видеопотока. Часто это значение не отражает реального качества видеокартинки.

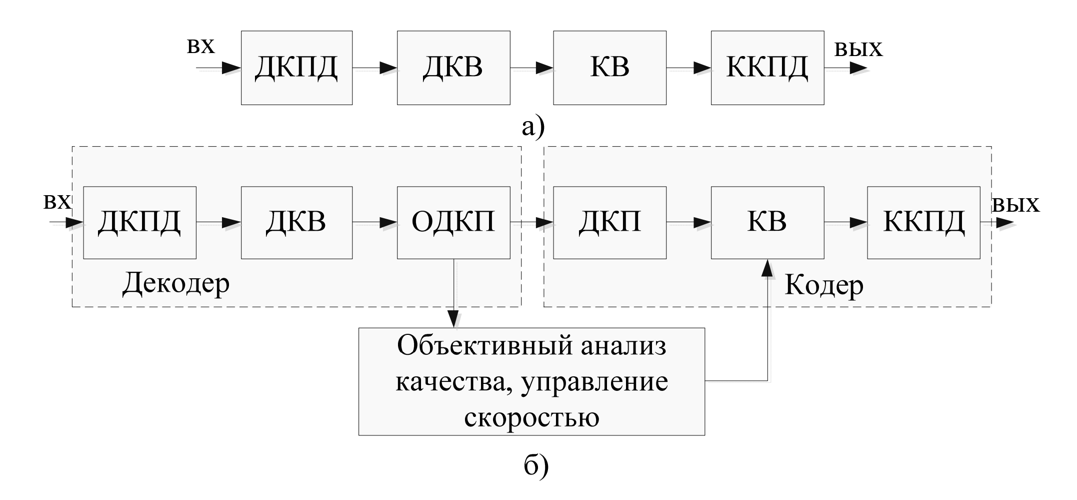


Рисунок 1 – Видеотранскодер: а – без обратной связи; б – с обратной связью (ДКПД – декодер кода переменной длины, ККПД – кодер кода переменной длины, ДКВ – деквантователь, КВ – квантователь, ОДКП – обратное ДКП)

Для осуществления анализа качества видеоизображения и использования полученной оценки для регулирования скорости видеопотока необходимо применить транскодер с обратной связью. В этом случае видеотранскодер должен полностью декодировать видеоданные (рис. 1 б), получая дискретные значения отсчетов сигнала яркости и цветоразностных сигналов каждого кадра видеопоследовательности для последующей передачи их в блок анализа качества, который определяет объективный показатель качества $Q_i^{\text{ср}}$ для каждого i-го кадра видеопотока и усредняет его на некотором временном интервале. Усредненный объективный показатель качества $Q^{\text{ср}}$ связан со скоростью видеопотока R:

$$Q^{\text{ср}} = \text{f}(R)\,. \qquad (1)$$

Вид зависимости (1) устанавливается экспериментально, исходя из результатов объективного и субъективного измерения качества тестовых последовательностей, сжатых в соответствии с алгоритмом MPEG-2, который применяется в системах цифрового телевидения.

Измерение качества видеоизображений

Качество видеоизображения можно измерять с помощью субъективных и объективных методов. Субъективные методы измерения качества дают результат, который максимально отвечает восприятию человека, поскольку они основаны на оценках, предоставленных экспертами в процессе наблюдения за контролируемыми видеоизображениями. В таком случае нельзя говорить об изменении битрейта на этапе создания видеоконтента, но такие эксперименты дают возможность определить соответствие между оценками качества и скоростью видеопотока для разных видеосцен, которые могут иметь место в процессе видеотрансляции.

В табл. 1 приведено описание тестовых видеопоследовательностей, сжатых по алгоритму MPEG-2 с различными скоростями видеопотока (2, 4, 6 и 8 Мбит/с), которые были использованы для проведения экспериментальных субъективных и объективных измерений качества.

Таблица 1 – Описание тестовых видеопоследовательностей

№ п/п	Название последовательности	Характеристика последовательности
1	Барселона	Насыщенный цвет и эффект маскировки
2	Арфа	Насыщенный цвет, изменение масштаба изображения, светлые участки, тонкие детали
3	Подвижная графика	Критическая для Betacam, цвет, подвижной текст, тонкие буквы, искусственная природа изображения
4	Каноэ	Движение воды, движение в противоположном направлении, много деталей
5	Болид Ф1	Быстрое движение, насыщенные цвета
6	В кафе	Кинопленка, цвета кожи, быстрое панорамирование
7	Движущийся текст	Текст с горизонтальным движением
8	Регби	Движение и цвета
9	Календарь	Движение и цвета

На рис. 2 приведены результаты экспериментального измерения качества на основе субъективных оценок для этих видеопоследовательностей. Для субъективного оценивания использован метод непрерывной шкалы качества с двойным раздражением (DSCQS) [1], [5] .

Анализируя результаты эксперимента, можно сделать следующие выводы:

− средние оценки качества понижаются с уменьшением скорости цифрового потока;

− кодирование видеопоследовательностей со скоростями цифрового потока менее 4 Мбит/с в большинстве случаев приводит к значительному ухудшению качества изображения;

− при уменьшении скорости цифрового видеопотока наибольшее ухудшение качества наблюдается в видеопоследовательностях, которые содержат динамический сюжет и широкий диапазон цветов;

− наименьшее ухудшение качества наблюдается на искусственно созданных изображениях.

Поэтому для улучшения качества изображения на этапе создания контента во время передачи спортивных соревнований или сюжетов, которые содержат быстрое движение, панорамирование и широкий диапазон переданных цветов, целесообразно вводить динамическое регулирование скорости цифрового видеопотока путем изменения глобального коэффициента квантования в зависимости от измеренного качества видеоизображения на основе объективных методов.

Поскольку существует большое количество объективных методов измерения качества видеоизображений, целесообразно выяснить, какой из методов дает оценку, максимально приближенную к оценке, отвечающей восприятию человека. Для решения этой задачи введен критерий точности на основе коэффициента линейной корреляции Пирсона r между предвиденным значением объективной метрики и реальной субъективной оценкой.

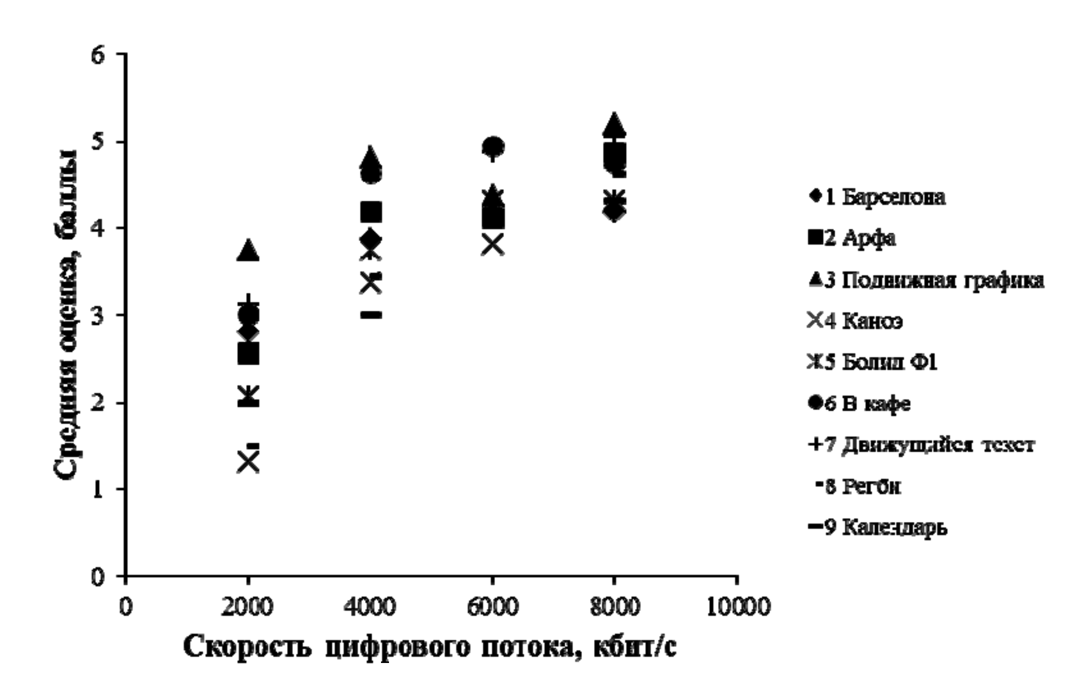


Рисунок 2 – Результаты субъективного измерения качества

Для сравнения объективных метрик их результаты (VQR – Video Quality Rating) надо привести к единой шкале, то есть к диапазону субъективных результатов (MOS – Mean Opinion Score) с помощью кубического полинома [5]:

$$MOS_p = A_0+A_1\cdot VQR+A_2\cdot(VQR)^2+A_3\cdot(VQR)^3, \qquad (2)$$

где MOS_p – предсказанные по результатам аппроксимации значения средних оценок, A_0, A_1, A_2, A_3 – параметры полинома, которые определяются исходя из минимизации суммы квадратов разницы между MOS_p и MOS.

Максимальное значение коэффициента линейной корреляции Пирсона $r = r_{max}$ означает, что результаты измерения качества, полученные с помощью исследуемого объективного метода, больше всего отвечают результатам субъективных измерений, потому объективный метод, для которого выполняется это условие, можно использовать для контроля качества видеопотока на этапе создания и передачи видеоконтента.

Исследованы три объективных метода измерения качества видеоизображений [1], [6], [7]:

− метод, основанный на измерении пикового отношения сигнал-шум (PSNR – Peak Signal-to-Noise Ratio);

− метод, основанный на вычислении индекса сходства изображения (MSSSIM – Multi-Scale Structure Similarity Index Measure);

− метод, который базируется на вычислении дискретного косинусного преобразования от изображения (VQM – Video Quality Measurement).

Значения коэффициента линейной корреляции Пирсона r, полученные для каждого из этих методов, приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Значение коэффициента корреляции Пирсона

Метод	PSNR	MSSSIM	VQM
r	0,88	0,92	0,85

Анализируя полученные значения, можно сделать вывод, что максимальное значение коэффициента линейной корреляции Пирсона имеет метод MSSSIM. Оценка качества видеоизображений, вычисленная согласно этому методу, будет служить критерием, в соответствии с которым будет осуществляться управление скоростью видеопотока. На рис. 3 приведен результат измерения качества тестовых видеопоследовательностей, описанных в табл. 1, с помощью метода MSSSIM в зависимости от скорости видеопотока R. Представленные на рис. 3 значения объективного показателя качества MSSSIM получены усреднением объективных оценок девяти тестовых видеопоследовательностей для соответствующей скорости видеопотока.

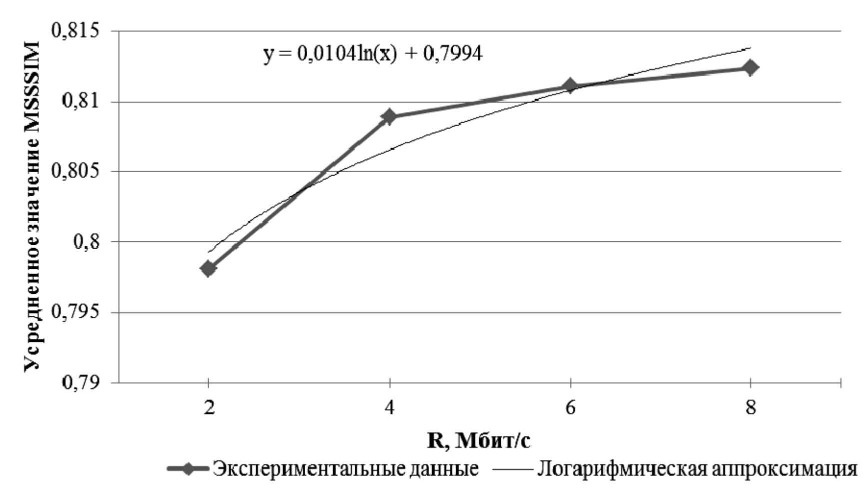


Рисунок 3 – Зависимость показателя качества от скорости видеопотока

Таким образом, по результатам экспериментов получен аналитический вид зависимости (1), связывающий объективный показатель качества со скоростью видеопотока:

$$Q^{\text{ср}} = 0,0104\ln(R) + 0,7994\,, \tag{3}$$

где $Q^{\text{ср}}$ – усредненный объективный показатель качества видеоизображения в соответствии с методом MSSSIM; R – скорость видеопотока.

Изменение скорости видеопотока

Управление скоростью видеопотока осуществляется путем изменения значения глобального коэффициента квантования $q_{\text{тр}}$ в квантователе (рис.1 б), который связан со значением глобального коэффициента квантования исходного видеопотока $q_{\text{о}}$ выражением [4]:

$$q_{\text{тр}} = m \cdot q_{\text{о}}\,, \tag{4}$$

где m – коэффициент, определяющий изменение скорости потока.

С другой стороны, отношение скоростей на выходе и входе транскодера (требуемой скорости $R_{\text{тр}}$ к исходной скорости $R_{\text{о}}$) связано линейной зависимостью с отношением между значениями глобального коэффициента квантования исходного $q_{\text{о}}$ и транскодированного $q_{\text{тр}}$ видеопотока [4]:

$$\frac{R_{\text{тр}}}{R_{\text{о}}} = \alpha\left(\frac{q_{\text{о}}}{q_{\text{тр}}}\right) + \beta\,, \tag{5}$$

где α и β – параметры модели.

Следовательно, используя выражение (3) и связав требуемую скорость видеопотока $R_{\text{тр}}$ с объективным показателем качества $Q^{\text{ср}}$, который зависит от класса видеопоследовательности и её характеристик – насыщенности цвета, изменения масштаба,

панорамирования, наличия движения (табл. 1), на основании выражений (4) и (5) можно определить необходимый глобальный коэффициент квантования $q_{тр}$ для изменения скорости видеопоследовательности этого класса.

Выводы

Предложенный подход даёт возможность изменять скорость видеопотока для видеопоследовательностей определенных классов в зависимости от их объективного качества, которое соответствует субъективному восприятию человека, при создании телевизионных программ либо при формировании мультиплекса провайдерами спутникового, кабельного или IP-телевидения.

Литература

1. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения / Ян Ричардсон. – М.: Техносфера, 2005. – 368 с.
2. Li Z., Gao W. Adaptive Rate Control with HRD Consideration, ISO/IEC-JTC1/SC29/WGU and ITU-T SG16. Q.6 Document JVT-H014 / Li Z., Gao W., et al. – May 2003.
3. Saw Y.-S. Rate-Quality Optimized Video Coding / Y.-S. Saw Kluwer Academic Publishers, 1998.
4. Formanek B., Ádám T. Rate control in MPEG-2 video bitrate transcoder / B. Formanek, T. Ádám // Proc. of the 10th International Carpathian Control Conference. – 2009. – P. 297-300.
5. Rec. ITU-R BT.500-12. Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures, September 2009.
6. Wang Z. Multi-Scale Structural Similarity for Image Quality Assessment. / Z. Wang, P. Simoncelli, A. Bovik. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://compression.ru/ video/ quality_ measure/ msssim.pdf
7. Feng Xiao. DCT-based Video Quality Evaluation. [Электронный ресурс] / Feng Xiao. – Режим доступа : http://compression.ru/video/quality_measure /vqm.pdf

Literatura

1. RichardsonJa. Videokodirovanie. H.264 i MPEG-4 – standarty novogo pokolenija M.: Tehnosfera. 2005. 368 s.
2. Li Z. Adaptive Rate Controlwith HRD Consideration, ISO/IEC-JTC1/SC29/WGU and ITU-T SG16. Q.6 Document JVT-H014.May 2003.
3. Saw Y.-S. Rate-Quality Optimized Video Coding. Kluwer Academic Publishers. November 1998.
4. Formanek B. Proc. ofthe 10th International Carpathian Control Conference. 2009. P 297-300
5. Rec. ITU-R BT.500-12. Methodologyforthe Subjective Assessmentofthe Qualityof TelevisionPictures. September 2009.
6. Wang Z. Multi-Scale Structural Similarityfor Image Quality Assessment [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://compression.ru/video/ quality_ measure / msssim.pdf
7. Feng Xiao. DCT-based Video Quality Evaluation [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://compression.ru/video/quality_measure /vqm.pdf

П.В. Попович
Вимірювання якості відеозображень як спосіб управління швидкістю відеопотоку
У статті досліджена проблема управління швидкістю відеопотоку в сучасних системах цифрового телевізійного мовлення на етапах підготовлення і передавання відеоконтенту. Запропоновано метод управління швидкістю за критерієм якості відеозображень, що вимірюється за допомогою об'єктивних показників і відповідає суб'єктивному сприйняттю людини.

P.V. Popovych
Video Pictures Quality Measurement as Rate Control Method of Video Stream
In the article a problem of video stream bitrate control is carried out for the modern digital television broadcasting systems on the stages of preparation and transmission of video content. A rate control method is offered by the criteria of video pictures quality, measuring by means of objective indexes and corresponding to subjective human perception.

Статья поступила в редакцию 01.06.2011.